

Bundesamt für Umwelt BAFU

# Die Schweiz auf dem Weg zu einer tiefgreifenden Dekarbonisierung

Zusammenfassung („nicht-technischer-Bericht“) zum Deep Decarbonization Pathways Project  
Zürich, 22. Juli 2015

Mario Betschart, Jürg Füssler, Rolf Iten, Damaris Bertschmann (Infras)  
Philippe Thalmann, Marc Vielle (EPFL)



# **Impressum**

## **Die Schweiz auf dem Weg zu einer tiefgreifenden Dekarbonisierung**

Zusammenfassung („nicht-technischer-Bericht“) zum Deep Decarbonization Pathways Project

Zürich, 22. Juli 2015

Zusammenfassung\_DDPP\_Schweiz\_non\_technical\_report\_final

### **Auftraggeber**

Bundesamt für Umwelt BAFU

### **Projektleitung**

Philippe Thalmann (EPFL)

### **Autorinnen und Autoren**

Mario Betschart, Jürg Füssler, Rolf Iten, Damaris Bertschmann (Infras)

Philippe Thalmann, Marc Vielle (EPFL)

INFRAS, Binzstrasse 23, 8045 Zürich

Tel. +41 44 205 95 95

### **Begleitgruppe**

Wir möchten die wertvollen Kommentare und Hinweise der Expertengruppe herzlich verdanken, welche am Workshop vom 12.09.2014 teilgenommen oder anderswertig zum Projekt beigetragen haben, inklusive: Jose Romero (BAFU), Marianne Abt (SECO), Norbert Baerlocher (BAFU), Pierre-Alain Bruchez (EFV), Reto Burkard (BAFU), Andrea Burkhardt (BAFU), Veronika Elgart (BAFU), Matthias Gysler (BFE), Philipp Ischer (SECO), Stephan Kellenberger (SECO), Franz Perrez (BAFU), Roger Ramer (BAFU), Stefan Ruchti (EDA). Die Verantwortung für den Inhalt liegt jedoch ausschliesslich bei den Autoren.

Die Schweiz kann ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Energieverbrauch bis zum Jahr 2050 um 4 Tonnen pro Einwohner reduzieren und damit die Vorgaben des international angestrebten Ziels einer globalen Klimaerwärmung von 2°C einhalten. Eine detaillierte Analyse mit verschiedenen Szenarien im Rahmen des Deep Decarbonization Pathways Projects konnte aufzeigen, dass die damit verbundenen Kosten für die Wirtschaft verkraftbar sind.

## **Gibt es Wege zur weitgehenden Reduktion der Treibhausgasemissionen der Schweiz bis 2050?**

### **Das DDP Projekt**

Das Deep Decarbonization Pathways Project, kurz DDPP, des Sustainable Development Solution Network der UNO und des Instituts für nachhaltige Entwicklung und internationale Beziehungen (IDDRI) hat sich zum Ziel gesetzt, Wege aufzuzeigen, wie es technisch und wirtschaftlich möglich ist, den CO<sub>2</sub>-Ausstoss bis 2050 so einzuschränken, dass die Klimaerwärmung unter zwei Grad Celsius gehalten werden kann. 30 Forschungsteams haben am Projekt mitgearbeitet. Die Teams stammen aus 15 Ländern, die zusammen für 70% der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich sind. Die Forschenden haben es sich zur Aufgabe gemacht, Wege einer tiefgreifenden Dekarbonisierung ihrer Länder aufzuzeigen und deren Machbarkeit zu überprüfen.

### **Ziel der Studie**

Für die Schweiz modellierten die ETH Lausanne und Infras im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU), in Anlehnung an das DDP Projekt, Szenarien einer wirtschaftlich und technisch vertretbaren Dekarbonisierung. Ziel des Projektes war es, Wege aufzuzeigen, um die energiegebundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Einwohner bis 2050 auf jährlich eine Tonne zu reduzieren. Nur so kann die globale Klimaerwärmung unter zwei Grad Celsius gehalten werden, vorausgesetzt, die übrigen Industrieländer unternehmen ähnliche Anstrengungen, um die Emissionen langfristig zu senken. Heute liegt der Ausstoss von energiegebundenem CO<sub>2</sub> in der Schweiz bei rund 5,1 Tonnen pro Einwohner. Die Reduktion würde demnach 76% im Vergleich zu 1990 betragen (ohne internationalen Flugverkehr). Der CO<sub>2</sub>-Gesamtausstoss im Energiebereich der Schweiz würde nur noch bei 9,8 Millionen Tonnen pro Jahr liegen (siehe zugrunde liegende Annahmen unter Modellierung).

## Von den Treibhausgasemissionen über die Szenarien hin zur Modellierung

### Treibhausgasemissionen weit über 2 Grad Ziel

Heute liegt der totale Ausstoss der Treibhausgase (THG) in der Schweiz weit über den Werten eines 2° Celsius Ziels (siehe auch Infras 2015). In ihrem offiziellen 6. Bericht an die UNFCCC (Swiss Confederation 2013) beschreibt die Schweiz verschiedene zukünftige Treibhausgasszenarien bis 2030. Das „with existing measures“ (WEM) Szenario beschreibt eine mögliche Entwicklung auf der Basis heutiger klima- und energiepolitischen Massnahmen. In Anlehnung an dieses Szenario wurde für die vorliegende Studie ein Referenzszenario definiert, welches ausschliesslich bereits getroffene Beschlüsse beinhaltet.

### Das Referenzszenario: 20 Prozent weniger CO<sub>2</sub> im Jahr 2020

Im Referenzszenario sinken die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2020 um 20% gegenüber 1990. Die heute vorgesehenen ökonomischen Instrumente sind: CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Brennstoffe, Emissionshandelssystem (EMS) für energieintensive Unternehmen, Massnahmen im Gebäudebereich, Reduktion der mittleren CO<sub>2</sub>-Ausstosses von Neuwagen auf 95 Gramm pro Kilometer und Kompensation von bis zu 10% der Emissionen der importierten Treibstoffe. Es wurde angenommen, dass die Massnahmen ab 2020 auf dem dannzumal erreichten Niveau weitergeführt werden. Weiter wurde davon ausgegangen, dass die schweizerischen Kernkraftwerke sukzessive bis 2044 abgeschaltet werden. Mühleberg wird demnach im Jahr 2019 runtergefahren und die anderen vier nach jeweils 60 Jahren Laufzeit – das letzte somit im Jahr 2044. Elektrofahrzeuge sollten im Jahr 2020 5% und 30 Jahre später 40% des Fahrzeugparks ausmachen (siehe Babonneau et al. 2015).

### Modellierung

Die eigentlichen Modellierungen wurden mit dem berechenbaren makroökonomischen Gleichgewichtsmodell<sup>1</sup> Gemini-E3 durchgeführt (Bernard & Vielle 2008). Alle Szenarien benützen dabei dieselben Hypothesen zur nationalen und globalen wirtschaftlichen Entwicklung bis 2050. Demnach verlangsamt sich das Wirtschaftswachstum der Schweiz von 1,3% auf 0,7%, und die Bevölkerung erreicht 9,82 Millionen Personen. Der Erdölpreis steigt auf 162 Dollar pro Barrel und der Erdgaspreis auf 15,1 Dollar pro Million British thermal units (BTU) an. Für die Stromproduktion, insbesondere die erneuerbaren Energien, wurden die von Prognos (2012) geschätzten Kosten pro Energieträger sowie die Schätzungen der jeweiligen Potenziale gemäss

---

<sup>1</sup> Eine Übersicht über makroökonomische Modelle findet sich in Infras (2015).

Bundesamt für Energie (BFE) verwendet. Weiter ist es im Modell möglich ab 2025 Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS) miteinzubeziehen. Die angenommenen Kosten belaufen sich auf 100 Dollar pro Tonne CO<sub>2</sub>.

## **Zukünftige Emissionswege**

### **Auf den Spuren des Referenzszenarios**

Wird der Kurs der Klima- und Energiepolitik des Referenzszenarios weitergeführt, können die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 kontinuierlich auf total 25 Millionen Tonnen reduziert werden (siehe Abbildung 1). Dies entspricht knapp der Hälfte des angestrebten Reduktionsziels. Hierzu muss die CO<sub>2</sub>-Abgabe auf fossile Brennstoffe wie Heizöl und Erdgas weiterhin 60 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub> betragen. Zusätzlich muss die Treibstoffabgabe („Klimarappen“) auf 2 Rappen pro Liter erhöht werden. Die Preise der CO<sub>2</sub>-Zertifikate müssten in diesem Szenario auf 40 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub> ansteigen. Der Stromverbrauch bleibt trotz Steigerung der Effizienz aufgrund der zunehmenden Anzahl Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen stabil. Es wird angenommen, dass die aufgrund der Abschaltung der Kernkraftwerke in der Schweiz zu erwartende Lücke in der nationalen Stromproduktion durch Gaskombikraftwerke geschlossen wird.

### **Einheitliche CO<sub>2</sub>-Abgabe und CCS**

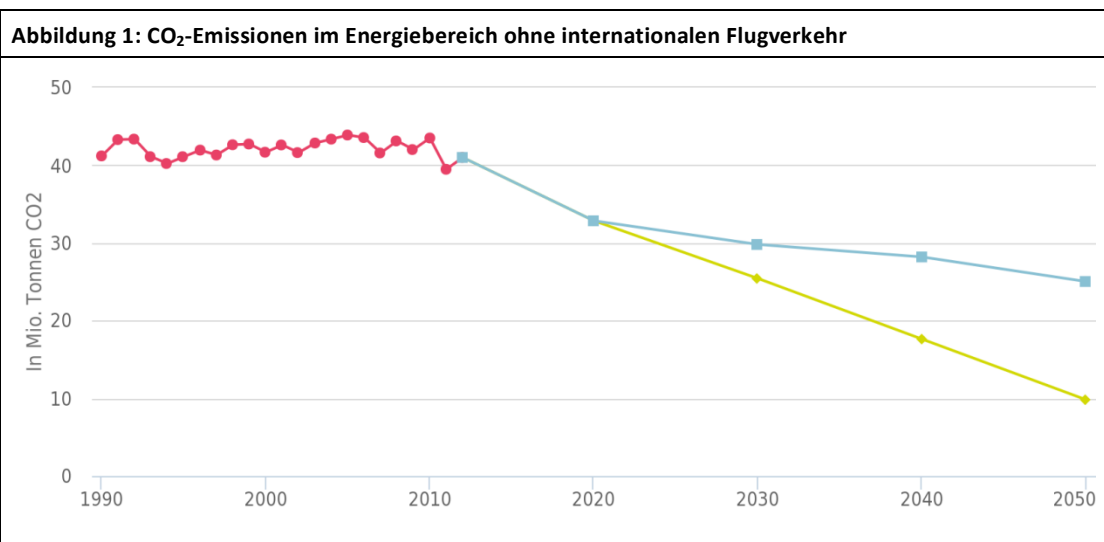
Will die Schweiz aktiv zum globalen 2°C Ziel beitragen, sind umfassende Instrumente notwendig. Aus diesem Grund werden die Massnahmen des Referenzszenarios in einem ersten DDP-Szenario durch eine einheitliche CO<sub>2</sub>-Abgabe ersetzt, deren Beiträge vollumfänglich rückverteilt werden. Da diese Massnahme erst ab dem Jahr 2021 wirkt, muss die Abgabe bis 2030 auf 257 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub> ansteigen. Danach wird die Abgabe stetig erhöht, bis der Benzin- und Dieselpreis um den Faktor 2.4 und der Heizölpreis um den Faktor 4.4 über dem heutigen Niveau liegen. Auf diesem Preisniveau werden die Emissionen der Gaskombikraftwerke vollumfänglich im Untergrund gespeichert. Der zusätzliche Strombedarf durch eine beschleunigte Elektrifizierung der Wirtschaft wird durch erneuerbare Energien und Erdgas gedeckt, wobei deren Potenzial zu 100% ausgeschöpft wird (Babonneau et al. 2015).

### **Einheitliche CO<sub>2</sub>-Abgabe ohne CCS**

Aufgrund der technologischen, wirtschaftlichen und sozialen Unsicherheiten wird im zweiten DDP-Szenario gänzlich auf CCS verzichtet. Die CO<sub>2</sub>-Abgabe muss daher beinahe verdoppelt werden, damit Wirtschaft und private Haushalte zusätzliche Anstrengungen unternehmen, wodurch auch der Stromkonsum gebremst wird und nicht über das Niveau des Referenzszenarios steigt.

### Einheitliche CO<sub>2</sub>-Abgabe in Kombination mit einer Stromabgabe und CCS

Das dritte DDP-Szenario kombiniert die Elemente des ersten Szenarios mit einer Begrenzung des Stromverbrauchs, um die energetische Auslandabhängigkeit der Schweiz zu reduzieren, welche durch den Erdgasimport im ersten Szenario eher zunimmt. Der Stromverbrauch soll demnach bis 2020 um 3% und bis 2035 gar um 13% gegenüber dem Stand im Jahr 2000 sinken, wie es die Revision des Energiegesetzes vorsieht. Es wurde angenommen, dass die Reduktion bis 2050 auf 18% ansteigt. Dadurch kann der jährliche Stromverbrauch ohne Erdgasimporte gedeckt werden. Auf der anderen Seite wird der Strompreis bis ins Jahr 2050 um 88% verteuert (Babonneau et al. 2015). Die einheitliche CO<sub>2</sub>-Abgabe kommt zwischen dem ersten und zweiten Szenario zu liegen.



Die rote Linie zeigt die historischen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Energiebereich. Die blaue Linie zeigt den Verlauf der CO<sub>2</sub>-Emissionen für das Referenzszenario. Die grüne Linie illustriert exemplarisch den Verlauf der DDP-Szenarien bis 2050. Quelle: Thalmann & Vielle (2015).

## Kaum Einkommenseinbussen

### Ziel ist erreichbar aber ambitioniert

Die drei vorgestellten Szenarios zeigen drei mögliche Pfade, mit welchen der ambitionierte Weg einer tiefgreifenden Dekarbonisierung erreicht werden kann. Es stellte sich heraus, dass das Ziel eines Verbrauchs von einer Tonne energiegebundenem CO<sub>2</sub> pro Einwohner bis zum Jahr 2050 ein ehrgeiziges, aber erreichbares Ziel darstellt. Der Ausstieg aus der Kernenergie wird dabei nie in Frage gestellt.

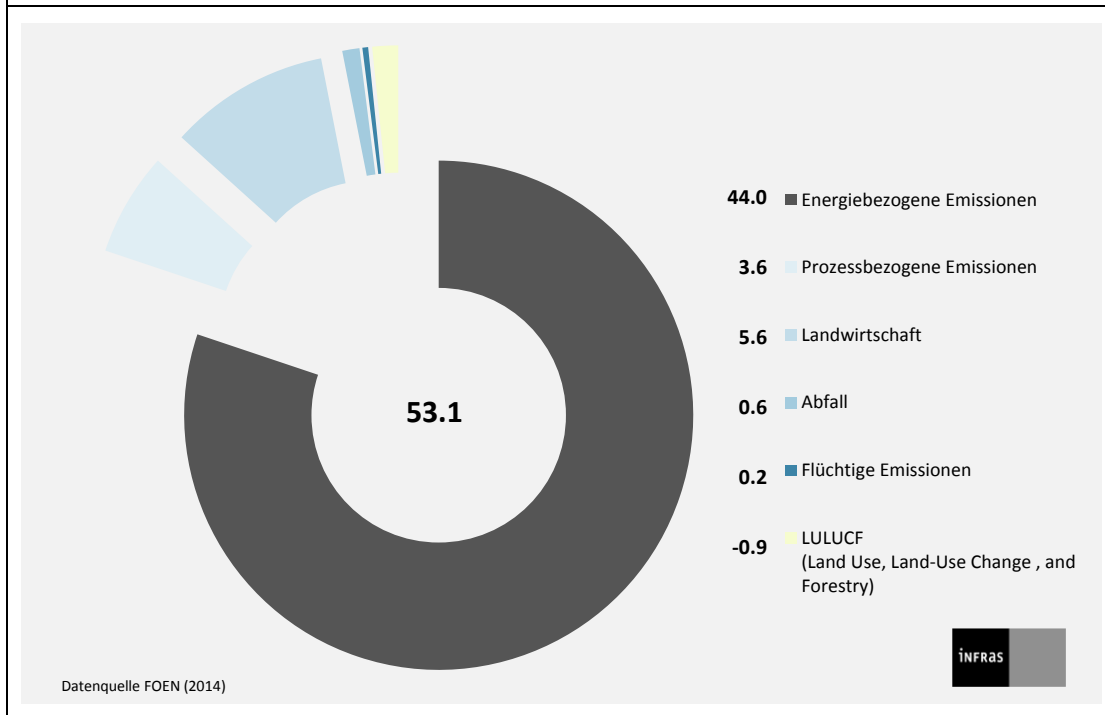
### **Kosten betragen ein bis zwei Prozent des verfügbaren Haushaltseinkommens**

Es stellt sich jedoch die Frage, ob die Haushalte und die Wirtschaft als Ganzes unter den notwendigen zusätzlichen Abgaben leiden werden. Im Rahmen der Modellierungen wurde diese Frage genauer untersucht (siehe auch Thalmann & Vielle 2015, Babonneau et al. 2015). Gemäss den Modellergebnissen ist mit einer Einbusse des verfügbaren Einkommens der Haushalte im Jahr 2050 in der Grössenordnung von zwischen rund einem und zwei Prozent zu rechnen. Dass die Kosten niedrig bleiben, liegt an der umfassenden CO<sub>2</sub>-Abgabe, die falls nötig mit einer Stromabgabe kombiniert werden kann. Dieses System bringt für alle Wirtschaftsbranchen Anreize, ihre Energieeffizienz zu steigern, die fossilen Energien durch Elektrizität zu ersetzen und das Potenzial der erneuerbaren Energien voll auszuschöpfen und dies auf die kostengünstigste Weise.

## **Bedeutung der nicht-CO<sub>2</sub>-Treibhausgase**

### **Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibhausgase sind nicht vernachlässigbar**

Die Szenarien und Modellierungsarbeiten beinhalten lediglich Auswirkungen auf das energiegebundene CO<sub>2</sub>. Für die globale Klimaerwärmung sind jedoch auch andere Gase wie Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffmonoxid (N<sub>2</sub>O) oder fluorierte Treibhausgase (F-Gase) verantwortlich. Im Vergleich zum CO<sub>2</sub> sind diese Treibhausgase bei gleicher Menge um ein vielfaches klimaschädlicher. Methan und N<sub>2</sub>O werden hauptsächlich im Bereich der Landwirtschaft emittiert (Infras 2015). Der Anteil der F-Gase ist die letzten Jahre stark ansteigend, da diese Gase als Ersatz der verbotenen FCKW eingesetzt werden. Die nicht-CO<sub>2</sub>- Treibhausgase sind daher keines Falls vernachlässigbar (siehe Abbildung 2).

**Abbildung 2: Treibhausgase 2010 nach Sektoren**

Die Abbildung zeigt die Treibhausgasemissionen der Schweiz nach Sektoren (aus Infrass 2015).

### Verschiedene Massnahmen vorgesehen

Bereits heute existieren in verschiedenen Bereichen Massnahmen, um die nicht-CO<sub>2</sub>-Treibhausgase zu reduzieren. Andere Massnahmen sind für die Zukunft geplant oder angedacht (Infrass 2015). Insbesondere im Bereich der Landwirtschaft gibt es Ideen und Potenziale die Methan und N<sub>2</sub>O Emissionen nachhaltig zu reduzieren. Für die F-Gase sind gar verschiedene Szenarien formuliert (Carbotech 2013).

### Ausblick: Alle Treibhausgase in Modellrechnungen miteinbeziehen

Im Rahmen des DDP Projekts wäre es daher zielführend in einem weiteren Schritt auch die übrigen Kyoto Gase in die Szenarien und Modellrechnungen miteinzubeziehen. Dies würde es auch erlauben, aufzuzeigen, welche Emissionen letzten Endes in welchem Umfang reduziert werden müssten, um das internationale 2°-Ziel im Rahmen der Gesamtbetrachtung der Treibhausgasemissionen zu erreichen. Nur so lassen sich die Wirkungen von Massnahmen in einzelnen Sektoren abschätzen und untereinander vergleichen. Eine vollumfängliche Modellierung bereits bestehender und geplanter Massnahmen, sowie die Abschätzung möglicher potenzieller Einsparungen im Bereich Land- und Forstwirtschaft würde die Resultate im Rahmen des DDP Projekt weiter verfeinern.



## **Tiefgreifende Dekarbonisierung bleibt ein ambitioniertes Ziel**

Das Projektteam aus Forschern der EPFL und Infras konnte drei potenzielle Wege zur tiefgreifenden Dekarbonisierung der schweizer Energieversorgung aufzeigen. Die Massnahmen der einzelnen Szenarien sind zwar unterschiedlich. Alle erreichen jedoch die Zielvorgabe von einer Tonne energiegebundener CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf, sei es nun mit oder ohne CCS sowie mit oder ohne Beschränkung des Stromverbrauchs. Die makroökonomischen Kosten werden sich jedoch nicht signifikant erhöhen.

Eines ist jedoch bereits jetzt klar. Das schweizerische Energieversorgungssystem wird sich in den nächsten Jahren tiefgreifend verändern müssen, damit die Schweiz einen signifikanten Beitrag zur Eindämmung der Klimaerwärmung unter 2° Celsius leisten kann. Inwiefern die nicht-CO<sub>2</sub>-Treibhausgase diese Entwicklung begünstigen können, bleibt offen und sollte vertieft analysiert werden.

## Literatur

- Babonneau, F., Thalmann, P., Vielle, M. 2015:** Simulations of proposed deep decarbonization pathways – A contribution to Switzerland decarbonization pathways. Laboratory of Environmental and Urban Economic, EPFL und INFRAS.
- Bernard, A., Vielle, M. 2008:** Gemini-E3, A General Equilibrium Model of International National Interactions Between Economy, Energy and the Environment, in: Computational Management Science, 5(3), S. 173-206.
- Carbotech 2013:** Emissionsperspektiven F-Gase: HFKW, PFKW und SF6. Carbotech AG im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt. Basel.
- FOEN 2014:** National Inventory Report 2014 – including reporting elements under the Kyoto Protocol. Submission of 15 April 2014 und the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Federal Office for the Environment FOEN.
- Infras 2015:** Pathways to deep decarbonization – An overview of Swiss climate policy and existing simulations of decarbonization strategies. Infras und EPFL.
- Prognos 2012:** Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050 – Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000-2050. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Basel.
- Swiss Confederation 2013:** Switzerland's Sixth National Communication and First Biennial Report under the UNFCCC, edited by Federal Office for the Environment, Bern.
- Thalmann, P., Vielle, M. 2015:** Die Schweiz auf dem Weg zur tiefgreifenden Dekarbonisierung. Die Volkswirtschaft – Plattform für Wirtschaftspolitik, 22.05.2015.